

RECIBIDO EL 10 DE DICIEMBRE DE 2019 - ACEPTADO EL 12 DE MARZO DE 2020

Aprendizaje del concepto de red trófica. Un análisis desde el pensamiento lineal y sistémico

Learning of the concept of food chain. An analysis from linear and systemic thinking

Carol Hernández Serrato¹

Ronald Andrés González-Reyes²

Facultad de Educación,

Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia

RESUMEN

Este artículo realiza una revisión sistemática del aprendizaje de las redes tróficas en educación básica primaria y secundaria desde el pensamiento lineal y sistémico, discutiendo dificultades y discontinuidades en su comprensión. Tras analizar 65 documentos especializados obtenidos de diversas fuentes electrónicas y repositorios de varias bibliotecas, se estableció que la comprensión de las relaciones inherentes a las redes tróficas

desde el pensamiento lineal ocasiona en los estudiantes una visión unidireccional, simplista y que desconoce su complejidad, mientras que el pensamiento sistémico a partir de hipótesis de transición posibilita la construcción progresiva de nociones, desarrollando habilidades cognitivas y estructuras de pensamiento donde prevalece la complejidad, lo multicausal, lo multidireccional y lo interrelacional.

PALABRAS CLAVE: biología, redes tróficas, pensamiento sistémico, ecología escolar

ABSTRACT

This article carries out a systematic review of the learning of trophic networks in basic primary and secondary education since Linear and Systemic Thinking, discussing difficulties and discontinuities in their understanding. The analysis

¹ Especialista en lúdica educativa (Fundación Universitaria Juan de Castellanos), Docente IED Colegio Paulo Freire. Correo electrónico: cahernandez79@uan.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4534-0933>

² Doctor en Ciencias Políticas y Sociales (Universidad Nacional Autónoma de México UNAM), Coordinador Maestría en Educación de la Universidad Antonio Nariño. Miembro del Grupo de Investigación Conciencia. Correo electrónico: sigrodan@uan.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-2015>

of 65 academic articles, obtained from electronic databases and repositories from Colombian university libraries, it allowed establishing the Linear Thinking causes a unidirectional and simplistic vision by the student, who ignores the complexity of the relationships inherent to food chains. On the other hand, Systemic Thinking based on transition hypotheses makes possible the progressive construction of notions. At the same time, it promotes a complex, multicausal, multidirectional, and interrelated comprehension that contributes to developing cognitive structures in students.

KEYWORDS: biology, food chains, systemic thinking, school ecology

INTRODUCCIÓN

Las cadenas y redes tróficas representan las relaciones entre aquellos individuos que conforman un ecosistema. Son modelos que referencian niveles y flujos establecidos gracias a la energía procedente del sol (excepto en las zonas afóticas marinas o fuentes hidrotermales). Esta energía que se almacena en la materia puede utilizarse gracias a la respiración celular que consiste en la oxidación de las moléculas orgánicas. De toda esa energía solo pasa una pequeña porción al siguiente nivel trófico, mientras el resto se disipa en forma de calor sin ser aprovechada por algún organismo. Este proceso se denomina flujo de energía, y su representación, que ilustra desde la producción hasta su consumo entre distintos organismos, se conoce como cadena trófica (Gómez, 2014).

A esas representaciones gráficas de las conexiones existentes en las diferentes cadenas alimenticias encontradas en comunidades terrestres y acuáticas se les denomina red trófica. Su uso ha permitido identificar que las comunidades son variables y que la mayoría de los cambios presentados pueden afectar la composición de otras redes (Allesina, Alonso y Pascual, 2008). Así pues,

entender cómo se desarrolla una cadena trófica ayuda a comprender las consecuencias que puede sufrir un ecosistema ante cambios inesperados de la naturaleza e incluso por el accionar humano. En efecto, la introducción o eliminación de una especie puede ocasionar cambios significativos en las redes alimentarias, convirtiendo a algunos organismos en plaga o llevándolos a desaparecer, por lo que conocer el funcionamiento de las redes tróficas permite evidenciar las consecuencias reales en los ecosistemas (Pimm, Lawton y Cohen, 1991).

En el entorno, estas cadenas no funcionan de forma simple y lineal, sino que se combinan en una red, ya que un organismo puede ser alimento de más de un tipo de consumidor; lo anterior permite señalar que entre mayor biodiversidad presente en un ecosistema, el nivel de complejidad de las relaciones entre organismos es más profundo. En este punto, la representación gráfica de la red trófica resulta esencial para entender sus relaciones, toda vez que permite visibilizar las consecuencias de la baja disponibilidad de energía trófica de un nivel a otro. Para ello, la construcción de dichas representaciones debe tener presente la dirección de las flechas del flujo y la posición de cada organismo en la cadena, lo que implica comprender los flujos de energía transferida de unos individuos a otros (Gómez, 2014).

Respecto a la enseñanza y aprendizaje de las redes tróficas, se encuentra que esta ha estado sustentada en los principios del pensamiento lineal, adscrito al paradigma positivista y fundamentado en un modo de pensar binario, el cual ha sostenido los modelos educativos en Occidente, incluidos los de los países latinoamericanos. La representación de estas redes desde el pensamiento lineal ha incidido en la apología a lo específico, a la cientificidad pura e inobjetable (Giraldo, 2016), que si bien permite establecer conexiones lógicas y secuenciales, deja de lado relaciones de cooperación e

interacciones complejas, descartando la opción de introducir diversas posibilidades que originen otro tipo de efectos (Garciandía, 2011).

Lo anterior significa que hay otra forma de entender las interrelaciones ecológicas, tal como lo sustenta Capra (1998), quien describe que las redes no se caracterizan por la linealidad, pues se expanden en diferentes direcciones, estableciendo conexiones no lineales, es decir, sistémicas. Bajo esta comprensión es necesario entender las relaciones generadas de las partes al todo, de los objetos a las relaciones y del contenido al patrón, lo que implica no solo comprender las partes sino dónde están inmersas y cómo se presentan en una totalidad. En este sentido, al ser el pensamiento lineal un obstáculo en la construcción de la noción de red trófica debido a su carácter estático y rígido, surge la necesidad de plantear una perspectiva sistémica para la enseñanza de las redes tróficas.

Dicha perspectiva implica un cambio en la manera como se conciben las ciencias, al entender que no hay asuntos aislados sino que todo hace parte de un gran sistema universal de conocimiento conformado por relaciones e interdependencias; de esta forma el concepto de sistema implica complejidad, dado que no puede comprenderse el todo sin las partes que lo componen y viceversa (Romero y Gil, 2017), donde el sistema es más que la suma de sus partes, y sus interrelaciones y organización son fundamentales. Es así como el reconocimiento de la complejidad de las redes tróficas permite un aprendizaje, que independientemente del nivel cursado, propicia análisis sistémicos del entorno.

La información incluida en libros de texto, procedimientos y estrategias utilizadas por los maestros y especialmente el paradigma desde donde se abordan, son los principales retos para subsanar las inconsistencias en los conocimientos de los estudiantes y que derivan

en malentendidos persistentes, incluso hasta la universidad. De allí que, el propósito central de este artículo sea evidenciar las dificultades y discontinuidades en la comprensión del concepto de red trófica en educación básica primaria y secundaria, partiendo para ello de la revisión sistemática de los principios tanto del pensamiento lineal como sistémico aplicados en su aprendizaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión sistemática sintetiza la mejor información disponible para responder a una pregunta científica a través de una metodología explícita y sistemática con el objeto de identificar, seleccionar y evaluar de manera crítica la investigación relevante (Salvador, Marco y Arquero, 2018). Ese proceso se desplegó con la información disponible sobre el aprendizaje de las redes tróficas desde las perspectivas lineal y sistémica en educación básica primaria y secundaria, ubicada desde las bases de datos electrónicas Science Direct, Scopus, y Nature, los motores de búsqueda Google académico y los repositorios de la Biblioteca Luis Ángel Arango, la Universidad Antonio Nariño, la Universidad Pedagógica Nacional, la Pontificia Universidad Javeriana y Researchgate. La búsqueda se llevó a cabo usando operadores booleanos (or,on,and) y con la saturación de categorías, que permitió registrar 90 documentos, de los cuales quedaron 65 pues se excluyeron aquellos que no abordaban la población focalizada, los que no tenían relación con el objetivo de la investigación, los anteriores a 1980 y los que presentaban información parcial, sin bibliografía o resumen, por ejemplo.

Con la sistematización de este material y con ayuda del diagrama de flujo prisma, se procedió a categorizar los elementos cuyo resultado se aprecia en la tabla 1, identificando cómo se genera la comprensión del concepto de red trófica; de la misma forma, se caracterizaron los principios del pensamiento lineal y sistémico

aplicados a la enseñanza de las redes tróficas y se analizaron la implicaciones de la transición de una metodología lineal hacia una sistémica para el aprendizaje del concepto de red trófica.

Tabla 1. Resumen de la evaluación de los registros encontrados

Descriptores utilizados	Enseñanza de la biología	6.6%
	Aprendizaje redes tróficas	31.1%
	Pensamiento lineal y redes tróficas	18%
	Pensamiento sistémico y redes tróficas	29.5%
	Transición del pensamiento simple al complejo en las redes tróficas	14.8%
Periodos de publicación	De 1980 a 1989	1.5%
	De 1990 a 1999	15.3%
	De 2000 a 2009	30.8%
	De 2010 a 2020	52.3%
Fuentes consultadas		
Español 60%	Revista Investigación en la Escuela	4.6%
	Revista Enseñanza de las Ciencias	4.6%
	Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza	4.6%
	Memorias IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias	4.6%
	Revista Nodos y Nudos	3.1%
	Otras revistas	16.9%
	Libros	7.7%
	Tesis	16.9%
Inglés 38.5%	Science	3.1%
	The American Biology Teacher	10.8%
	Journal of Biological Education	6.2%
	Wiley InterScience	3.1%
	Journal of Research in science teaching	3.1%
	Otras revistas	9.2%
Portugués 1.5%	Ciência e Educação	1.5%

Fuente: elaboración propia

La revisión de los documentos determinó que Latinoamérica tienen un importante rezago a nivel investigativo, pues solo sumando toda la producción científica de la región se alcanza una representatividad similar a la de España. Respecto a las redes tróficas las revistas más productivas pertenecen a países de habla inglesa y constituyen un 38,5% del total, lo que evidencia la necesidad de profundizar la discusión en idioma español frente al pensamiento lineal y sistémico y su aplicación al aprendizaje de las redes tróficas, ya que pese al periodo de tiempo acopiado (1980 a 2020), el material encontrado tampoco es numeroso; lo anterior, tiene implicaciones directas sobre el conocimiento acumulado, la práctica de los maestros, la manera de generar el aprendizaje de las ciencias y sobre el proceso educativo en general (Valbuena, 2007).

Respecto a la transición del pensamiento simple al complejo, pocos estudios se ocupan del tema; no obstante, el material encontrado que representa el 29,5%, permitió sustentar la importancia del pensamiento sistémico en el entendimiento de las redes tróficas. Si bien muchos documentos utilizados son producto de estudios realizados en la última década, se tuvo en cuenta artículos antiguos al considerarse importante mostrar que el debate no es reciente y con la revisión de información se evidenció un vacío conceptual y aportes apenas incipientes sobre el aprendizaje del concepto en niños de primaria, lo que explica que la información preponderante se relacione con estudiantes de bachillerato.

Finalmente, para estructurar la discusión, el artículo se divide en cuatro apartados: en la primera sección se abordan los aspectos referentes al aprendizaje de las redes tróficas, luego se presentan las dificultades que tiene su enseñanza desde el pensamiento lineal, posteriormente se hace un abordaje desde la visión sistémica, para finalizar analizando el

tránsito del pensamiento lineal al sistémico.

APRENDIZAJE ASOCIADO A LAS REDES TRÓFICAS

El aprendizaje de este concepto, aunque es un tema básico en el área de biología no es tan sencillo como parece. Según Webb y Boltt (1990) el reconocimiento de las relaciones inherentes a las redes tróficas se dificulta debido a la diversidad y carácter multinivel de los cambios en una población, por lo que han sugerido que su desarrollo conceptual debe iniciarse desde el nivel básico del currículo escolar, propuesta con la que Barman y Mayer (1994) coinciden, tras identificar que las dificultades tienen su anclaje en el manejo de los libros de texto que afecta la capacidad comprensiva de los estudiantes, quienes terminan desplegando descripciones básicas y exteriorizando inconsistencias que corroboran su problemática comprensión.

Lo anterior constata que ideas aparentemente básicas para los docentes no se perciben así por los estudiantes y que conceptos errados y sin contexto científico ocasionan malentendidos. De allí que, Santos y Maciel (2013) recomienden identificar el conocimiento previo para determinar implicaciones en la configuración conceptual y en el establecimiento de relaciones para así evitar inconsistencias que distorsionen la comprensión de los ciclos alimentarios. Pero identificar qué estrategia funciona requiere establecer qué saben los estudiantes y donde están los problemas, por ello Wenk y Butler (2010) sugieren reunir evidencias antes de profundizar en el conocimiento. Esto permite, por ejemplo, construir explicaciones e interpretar la direccionalidad de las flechas en las ilustraciones que realizan los estudiantes y que simbolizan las transferencias de energía en un sistema. Esto es fundamental si se tiene en cuenta que en el aprendizaje de las redes tróficas, las *representaciones* son necesarias para entender entre otros, los efectos de las perturbaciones en los sistemas ecológicos.

No obstante, el reconocimiento de cómo se generan estos flujos de energía es una de las principales dificultades de los estudiantes, debido a los inconvenientes para interpretar relaciones y propiedades emergentes, lo que Rincón (2011) adjudica a que las redes tróficas son presentadas como secuencias lineales, que siguen un patrón de causalidad correspondiente a un criterio unidireccional que busca establecer relaciones causa-efecto. Frente a esto se plantea que el mejor método para graficar las redes tróficas es en cajas, ya que permite observar el proceso que controla la estructura de la comunidad y el uso de las flechas posibilita la identificación de la dirección del flujo de energía que va de productores primarios a herbívoros y de estos a los carnívoros. Esta estructura sugiere que la población de cualquier nivel trófico se limita por la población del nivel trófico inferior, lo que se denomina control por los recursos (*bottom-up*) y pueden realizarlo los depredadores (*top-down*) al controlar la diversidad de las especies presa (Smith, Smith y Román, 2007).

Según Preston (2018), familiarizar a los estudiantes, especialmente de primaria, con *diagramas* simples de redes alimentarias mejora el entendimiento de las relaciones entre organismos y de conceptos encapsulados, facilitando la comprensión de las relaciones e interdependencias en una cadena trófica y de los flujos de energía. Bravo y Jiménez (2014), pese a estar de acuerdo en que dicho modelo y su argumentación permite evidenciar el conocimiento conceptual, develan su insuficiencia cuando el obstáculo está en la comprensión de la biología y sus nociones teóricas. Por eso recomiendan estructurar un modelo de relaciones entre entidades abstractas que incorpore ciertos niveles tróficos para entender las consecuencias de alimentarse en determinado nivel trófico y en la gestión de recursos ecosistémicos.

Debido a que con la diagramación de los flujos de energía persisten las dificultades para enlazar nociones abstractas, se hace necesario indagar dónde o por qué surgen estos problemas. Wyner y Blath (2019) destacan que, pese a la comprensión científica de las interacciones de la red, se presenta una desconexión entre la instrucción formal y la vida diaria, al evidenciar que muchos estudiantes y profesores no aplican la comprensión de las redes alimentarias en actividades cotidianas como comer. Rincón (2011) tras una revisión documental, adjudica esta situación a que el abordaje de las redes tróficas se hace desde el pensamiento lineal, lo que fomenta concepciones erróneas en los estudiantes frente a la red trófica y los criterios relacionados con su dinámica (equilibrio, flujo de energía, ciclos de nutrientes, redes tróficas, interacción y efecto de las perturbaciones), y es esa ausencia de una visión sistémica y compleja de la dinámica del ecosistema, la que lleva a desconocer la diversidad inherente de la cadena trófica.

Aunque Martínez (2016) encuentra que existe un consenso al interior de los especialistas en didáctica de la biología frente al hecho que la comprensión de la cadena trófica requiere una enseñanza práctica de los ecosistemas, concluye que se trata de un proceso poco trabajado en los currículos escolares. Esta marginación ocasiona problemas en el entendimiento de sus dinámicas, produciéndose en los estudiantes una concepción aditiva de la ecología y una incapacidad de relacionar los conceptos abordados. De allí que proponga implementar la metodología de trabajos cooperativos, elemento central en el aprendizaje significativo, como herramienta útil en el estudio de las relaciones tróficas. En esta perspectiva también se inscribe Grumbine (2012), quien con anterioridad había planteado que los ejercicios prácticos facilitan la apropiación de aspectos generales y conceptos relacionados, y que en el caso de la construcción de modelos de redes

alimentarias con materiales diversos y trabajo en equipo, posibilitan al docente la tipificación de fortalezas y debilidades, siendo de ayuda para el seguimiento y mejora del aprendizaje de los estudiantes.

Sumado a lo anterior se encuentra que, en la comprensión de la cadena trófica, el abordaje contextual necesita mayor atención, ya que se convierte en el mecanismo que permite el cambio cognoscitivo (Cepeda, Martínez y Rangel, 2015). En este sentido, el concepto de red trófica y su diferenciación de la cadena trófica resulta básico; lo mismo aplica para la comprensión del rol de los descomponedores, o el caso de las plantas en los ecosistemas cuyo papel de productor principal se desestima. De allí que, Sánchez (2010) plantee que el criterio de interacción requiere mayor énfasis porque las redes tróficas al entrelazar muchas cadenas de alimentación configuran un sistema de transferencia de energía con numerosas interconexiones. Estos conceptos al vincularse entre sí responden a la función que cada organismo tiene en la naturaleza, dejando en evidencia la mutua dependencia entre diversos organismos y su medio, lo que a la postre responde a un planteamiento sistémico.

Por ello Hincapié (2015) resalta que, la observación del ciclo de vida a través de las cadenas tróficas de un ecosistema real, permite a los estudiantes articular el conocimiento a sus vivencias cotidianas, generando progresos en distintas dimensiones. Por ende, en el aprendizaje de las redes tróficas también es importante enlazar lo didáctico y lo práctico con un seguimiento desde estrategias metodológicas que articulen la ecología, la taxonomía y la biología de los organismos. Ese enlace lo hizo Suárez (2015), desde una estrategia pedagógica con un objeto virtual de aprendizaje (OVA) dirigido a estudiantes de primaria, cuyos hallazgos le permiten destacar una transformación en la enseñanza, el refuerzo

conceptual y la generación de interés en la biodiversidad y en el funcionamiento de los ecosistemas. Hincapié (2016), también incidió en la comprensión de estudiantes del concepto de energía y su paso a través de los niveles tróficos en un ecosistema de desierto por medio de las TIC, que lo llevó a concluir que puede superarse el aprendizaje memorístico rutinario tradicional y lineal, con una selección de contenidos estructurados secuencialmente, visibilizando la interacción en los niveles tróficos de una cadena.

Conectando las ideas expuestas se puede decir que, para mejorar el aprendizaje de las redes tróficas, además de iniciar su enseñanza en edades tempranas, se requiere identificar conocimientos previos, problemas y dificultades en los estudiantes a la hora de desarrollar ciertas competencias científicas como el reconocimiento del lenguaje científico, la aplicación de habilidades de tipo experimental, la organización de información, el trabajo en equipo, la pericia para desarrollar una tarea con cierta finalidad y las destrezas a partir de saberes técnicos, metodológicos y participativos (Coronado y Arteta, 2015), que promuevan la apertura a conceptos más complejos (bioma, ecología, ecosistema, entre otros).

En este punto resulta vital que la planeación que realice el docente incorpore el uso de diagramas o representaciones para la enseñanza y aprendizaje de las redes tróficas. Este cambio de perspectiva es fundamental, al tiempo que se requiere involucrar actividades centradas en la comprensión desde la práctica, implementando para ello métodos cooperativos y modelos que mejoren la articulación conceptual. Esto implica desplegar una comprensión sistémica, acorde con la complejidad inherente a las redes tróficas, que profundice relaciones, articule conceptos y permita extrapolarlos al entorno, superando las falencias evidenciadas.

PRINCIPIOS DEL PENSAMIENTO LINEAL APLICADOS A LAS REDES TRÓFICAS

Según García (2003), el conocimiento ecológico escolar ha sido formulado desde un marco tradicional pese a la necesidad de una integración didáctica de diversos referentes y contenidos educativos. En ese marco, las conceptualizaciones donde se resalta la de red trófica se presentan como dogma y los estudiantes terminan viéndolas como un criterio estático, con una sola formulación posible. Las interacciones ecológicas no explican la noción de interacción, fundamental para entender la organización ecológica, dejando al ecosistema como un trozo de naturaleza sin distinguir su compleja y dinámica organización, insistiendo en la idea del equilibrio y ciclos naturales rígidos y cerrados, que hace a este enfoque reduccionista de la dinámica de la biosfera, desconociendo la construcción histórica del conocimiento bajo una visión mecanicista donde conocer las partes es suficiente para dar cuenta de las propiedades del todo, pretendiendo separar, diseccionar, simplificar y reducir.

Aunque Gil y Martínez (1992) en su momento advirtieron que se había concedido mayor importancia a los temas ambientales en el entorno educativo, también identificaron una simplificación excesiva en los libros de texto que reduce su estudio a una definición de términos cuya consecuencia se percibe en múltiples dificultades comprensivas. Por ejemplo, se identifican elementos descriptivos más no su funcionamiento global porque las nociones lineales de las interacciones interfieren en la consolidación de esquemas de flujos y ciclos de energía. A esto se adhieren Leach, Driver, Scott y Wood-Robinson (1996), (White, 2011), (Grotzer, 2009) y (Hernández, 2019), quienes indican que los estudiantes representan la correspondencia depredador/presa de manera lineal porque observan las redes tróficas como proceso causa/efecto, sin profundizar en las dinámicas,

interrelaciones o redes que se establecen; por lo anterior, este grupo de autores destacan la necesidad de postular objetivos más complejos que los lleve a interpretar el ecosistema con mayor profundidad.

El pensamiento lineal y las experiencias cotidianas influyen en las conceptualizaciones según Helldén (1999), quien lo establece a partir de un estudio longitudinal desarrollado para estimar la comprensión de las condiciones de vida, crecimiento y descomposición en un ecosistema a partir del análisis de las redes tróficas. El desarrollo de entrevistas periódicas (9 veces en 4 años) a estudiantes entre 9 y 15 años, demostró que los niños usaron un modelo de ciclo para explicar cómo los organismos mantenían recursos para el soporte vital y la mayoría pensaba que el suelo era el fin de la descomposición, por lo que concluyó que abordar el concepto desde temprana edad permite profundizar en los procesos ecosistémicos y desarrollar un tipo de comprensión más compleja.

Esto lo confirman Leach, Driver, Scott y Wood-Robinson (2007), quienes identifican que una visión causal limita la profundización del conocimiento y una apropiación mayor de las relaciones y situaciones que presenta un sistema complejo, lo que se refleja en la comprensión de conceptos específicos como el de red trófica y sus principios, resaltando la interdependencia de los organismos en los ecosistemas, en el ciclo de la materia, entre organismos y el ambiente abiótico, donde priman ideas preconfiguradas. Por eso, aunque ahora la ecología se ubica con fuerza en el ámbito educativo, Bermúdez y de Longhi (2008), resaltan la necesidad de no caer en reduccionismos conceptuales y revisar su enseñanza centrada en un paradigma unidireccional que evalúa causas y consecuencias pero no especifica cómo conocimientos inherentes a la ecología como

la noción de red trófica, puede ser interpretado desde los diversos escenarios que impacta.

Ese tipo de cognición causal usada para determinar cómo interactúan los organismos en y con el mundo natural, White (2011) la denomina ecología ingenua porque describe un modelo simple de red alimentaria donde los efectos de las perturbaciones que pueden afectarla van debilitándose a medida que se extiende. Según Rivera y Muñoz (2016), creencias adquiridas como que el ecosistema solo se compone de seres vivos prevalece porque se desconocen las relaciones entre componentes bióticos y abióticos. Esto denota dificultad para razonar sobre el ecosistema como sistema e incide en la representación de las redes tróficas donde prevalece la relación causa y efecto unidireccional, desconociendo que las consecuencias se propagan desde la causa (perturbación) y que la falta de productores afecta a todo tipo de consumidores.

Pese a esa tendencia de los estudiantes a acudir a un razonamiento unidireccional en lugar de uno complejo en la identificación de la dinámica y perturbaciones de la red alimentaria, hace que los patrones de relaciones y efectos recíprocos respecto a los ecosistemas sean limitados (Hogan, 2000). Por eso, articular contenidos de biología, química y física es importante para construir un dominio conceptual amplio, coherente e integrado que permita a los estudiantes entender cómo funciona la naturaleza y las redes tróficas dentro de ella y porqué se generan impactos negativos con las actividades cotidianas (García, Silva y Sesto, 2020).

A partir de estos hallazgos, surge la pregunta por qué el pensamiento lineal continúa vigente pese a los inconvenientes identificados, frente a lo que Valbuena (2007) sostiene que se debe a su preponderancia en la escuela, ya que se asume como el enfoque idóneo para la enseñanza de la biología, lo cual tiene que ver

con el hecho que a los profesores de esta área se les forma a su vez en este enfoque. De esta forma, el autor encuentra que los programas de formación profesional de licenciados en biología, particularmente en Colombia, ofrecen un abordaje muy básico de las capacidades metacognitivas y del pensamiento sistémico y complejo, a pesar de su importancia para el desempeño futuro de estos profesionales. Al respecto, Giraldo (2016) señala que dichas formas de enseñanza poco operativas han provocado un estancamiento generalizado en el contexto latinoamericano, especialmente en Colombia, en donde las prácticas educativas y sociales no se han desligado del influjo positivista, lo que pone de presente la urgencia de un tránsito hacia la denominada trama circular, que permita subvertir el orden lineal en la comprensión de los procesos.

En ese sentido, si los docentes no son formados bajo estos criterios, tampoco podrán hacer lo propio con sus estudiantes. De ahí la importancia de abrir las posibilidades didácticas, teóricas y pedagógicas en los entornos formadores de los futuros profesores, ampliando y actualizando las opciones de abordaje de los contenidos del área de biología para desencadenar otras formas de ver la realidad y construir el conocimiento. El giro que ha venido delineando pensamientos y acciones de distinto orden tiene implicaciones en la ciencia, donde lo absoluto y lineal ha sido cuestionado por una mirada integral y organizada que incorpora la subjetividad, el caos, el desequilibrio y la hibridez. Esto abre la discusión sobre el pensamiento sistémico y sus aplicaciones en el abordaje de las redes tróficas con interesantes hallazgos que se presentan a continuación.

PENSAMIENTO SISTÉMICO APLICADO A LA ENSEÑANZA DE REDES TRÓFICAS

El pensamiento sistémico facilita la comprensión de las redes tróficas porque transforma la percepción de los estudiantes ahondando en la

complejidad de las observaciones realizadas, supera la mera identificación de elementos inherentes permitiendo el entendimiento de su interrelación y la trascendencia del conocimiento a otros niveles de forma esquemática y multidireccional. Por ello, Alexander (1982) estableció que en la enseñanza de las redes tróficas el enfoque sistémico es más efectivo, pues no solo posibilita la percepción de partes individuales, sino que implica reconocer la forma en que encajan para conformar un todo. Aunque reconoce que el enfoque lineal permite el aprendizaje de las características de los organismos, resalta sus deficiencias en el abordaje del concepto de las redes tróficas.

Pero superar la visión positivista requiere que el conocimiento empiece a verse como una red donde las descripciones interconecten conceptos y modelos y como el enfoque sistémico enseña a pensar de manera global, holística y sistémica, permite establecer suposiciones, relaciones y modelos; evidenciar sus interacciones y dinámicas de proceso e identificar condiciones, variables y parámetros. Por eso, fortalecer este pensamiento tiene implicaciones en la modelación y posibilita anticipar la dinámica del sistema (Pedreros, Chaparro, Méndez, Sastoque y Prias, 2006). Pero cuando se genera un distanciamiento entre lo que sucede en el aula y en el mundo exterior, se olvida que procesos sutiles tienen efectos devastadores en los ecosistemas y que causas y efectos no están estrechamente relacionadas porque las causas pueden convertirse en efectos y viceversa en la perspectiva sistémica (Escobar y Guevara, 2017).

Por ello, nociones como autopoiesis, estructuras disipativas, equilibrio dinámico o los principios de recursividad desarrollados por la teoría de sistemas permiten estudiar los ecosistemas desde una visión compleja rompiendo con el paradigma lineal que destaca el no equilibrio, no linealidad o la recursividad emergente (Salvo,

Romero y Briceño, 2009). Entonces, establecer interacciones en el ecosistema permite explicar las redes tróficas y relaciones como inquilinismo, depredación, parasitismo y mutualismo ayudan con su comprensión forjando una actitud reflexiva ante la preservación de las especies. No obstante, abordar las redes tróficas en la enseñanza desde una visión analítica pero no sistémica, incide en que relaciones fundamentales en el equilibrio y conservación del ecosistema se desconozcan, por ende, se relegan las relaciones reciprocas entre factores bióticos y abióticos que incide en su comprensión (Torres y Reyes, 2017)

En este marco Grozer y Bell (2003), encuentran que, a partir de una unidad de enseñanza de los ecosistemas típica de la escuela primaria puede superarse las limitaciones para establecer relaciones y efectos entre conceptos determinados por el entendimiento de las estructuras causales subyacentes. Así mismo, Pérez (2015) destaca que una metodología constructivista fortalece el pensamiento sistémico y el conocimiento de las redes tróficas, por ello recomienda ejercicios que comprometan varios niveles de dominio para obtener resultados significativos: evaluaciones de habilidades frente a definiciones conceptuales, experimentos en el laboratorio, actividades cooperativas, análisis de casos, mapas cognitivos o de organización gráfica. A esto se adhieren (Magntorn, 2007) y (Peisajovich, 2005) quienes enfatizan en la importancia de actividades al aire libre o salidas de campo como estrategia para lograr aprendizajes significativos porque después de estas prácticas, los estudiantes definen un mayor número de componentes y relaciones tróficas, establecen interacciones y desarrollan el pensamiento sistémico.

Por ello, es fundamental forjar el pensamiento sistémico desde el nivel escolar básico, según Ben-Zvi y Orion (2005), porque profundizar en el entendimiento de sistemas complejos mejora

la comprensión de su funcionamiento y de las relaciones entre componentes cognitivos. Sin desconocer las habilidades individuales y la integración del conocimiento nuevo con el anterior, el trabajo a través de etapas secuenciales dispuestas en una estructura jerárquica genera habilidades cognitivas que promueven el desarrollo de estructuras de pensamiento de orden superior, que puede converger en un progreso significativo en los estudiantes. Así lo ratificó Plate (2010) con el despliegue de una herramienta denominada “Evaluación de Mapeo Cognitivo del Pensamiento de Sistemas”, con la cual determinó que aquellos estudiantes instruidos desde la vertiente sistémica exhiben una capacidad significativamente mayor para comprender información sobre un complejo sistema ambiental, pese a no haber recibido capacitación en biología.

Para Sweeney y Sterman (2007), al forjar el pensamiento sistémico debe considerarse las posibles barreras que impide a los estudiantes comprender los sistemas dinámicos y las implicaciones en la enseñanza de conceptos que subyacen de las nociones de ecosistemas y las redes tróficas. Superar estos elementos y sus relaciones incide en las habilidades cognitivas situadas en la parte alta de la pirámide donde se proyecta el pensamiento temporal (Sáenz, Lucha, Claver, Aransanz y Iraizoz, 2017). Como el aprendizaje en progresión permite analizar mejor las interacciones en los ecosistemas y la dinámica de las redes tróficas, desarrolla patrones de razonamiento práctico, antropomórfico, concreto, causal, simple, semicomplejo y causal-complejo, al utilizarse por los estudiantes se articulan de forma diversa con implicaciones importantes en el aprendizaje si se realiza en los primeros grados de primaria (Hokayem y Wenk, 2016). A esto se adscriben Grajales y González (2009) y Evagorou, Korfiatis, Nicolaou y Constantinou (2009), quienes frente a contenidos relacionados con los flujos de energía y basados en la modelización, determinaron

mejoras significativas en los estudiantes frente a la identificación de relaciones complejas de las redes tróficas dentro de un ecosistema.

El funcionamiento de las redes tróficas comprende un sistema de relaciones y su análisis permite desarrollar diferentes niveles de pensamiento, de ahí la importancia del abordaje en la escuela. Mejora la capacidad para identificar los componentes, procesos, niveles e interrelaciones; patrones y mecanismos de control en el ecosistema; o cambios de equilibrio y aspectos espaciales y temporales de las relaciones de alimentación. Su dominio conceptual fortalece la comprensión de la compleja construcción multinivel y sistémica de las relaciones de alimentación anidadas en un sistema mayor, (Eilam, 2012). Por eso el pensamiento sistémico ayuda a la comprensión de las redes tróficas como concepto transversal y a reconocer nociones inherentes: patrones, causas y efectos; sistemas y modelos de sistemas; los flujos de energía y la materia; la estabilidad y el cambio; porque ayudan a entender que los ecosistemas no sobreviven si las especies se extinguen, sino que se transforman en algo distinto (Silva & Maskiewicz, 2016).

Por lo anterior, describir el pensamiento sistémico es pertinente porque ayuda a entender que el sistema y sus partes están entrelazados por interrelaciones parte-parte; parte-todo; todo-entorno, que dinamizan el sistema y cuya persistente modificación resulta en propiedades emergentes donde la multicausalidad ofrece distintos caminos para comprobar ideas. Esta interacción posibilita una red en diferentes sentidos originando una interdependencia entre las partes del sistema, proceso que genera cambios a nivel micro o macro que modifican el sistema generando nuevas condiciones denominadas emergencias. Además, la habilidad para focalizar la atención en distintos niveles logra diversos tipos de

complejidad con leyes operando en cada uno debido a una complejidad organizada. Por eso pensar sistémicamente genera un cambio en la percepción, en el establecimiento de relaciones entre lo micro y lo macro, hace más minuciosas las observaciones posibilitando nuevas propuestas e ideas (Peñaloza, 2013).

Por lo descrito algunos investigadores realizan el salto del enfoque lineal al sistémico y en esa transición cambia la comprensión de los ecosistemas, los fenómenos naturales, ecológicos y ambientales. Cuando esto se aplica en las aulas se integran nociones, métodos, prácticas pedagógicas que formulan una construcción gradual, flexible y práctica del conocimiento que deriva en la configuración de redes conceptuales y sistemas de ideas, evidenciando que complejizar el pensamiento permite superar las dicotomías para encontrar sus matices. Por eso, en el siguiente apartado se presentan algunas reflexiones sobre cómo el tránsito hacia el pensamiento sistémico permite articular contenidos a través de una trama circular de mayor complejidad que afecta positivamente la comprensión relacional presente en las redes tróficas.

TRANSICIÓN DE UN PENSAMIENTO SIMPLE A UNO COMPLEJO EN LAS REDES TRÓFICAS

Las dimensiones que caracterizan la transición del pensamiento simple al complejo y sus implicaciones didácticas han sido tema de análisis desde una nueva comprensión científica en todos los niveles de los sistemas vivos (organismos, sistemas sociales y ecosistemas). Bajo la perspectiva que en el tránsito de la humanidad ha sido constante la sistematicidad y circularidad surge un nuevo paradigma donde se consolidan redes de conceptos para entender el funcionamiento nociones tales como las redes tróficas (Giraldo, 2016). Así, la idea de ecosistema como conjunto de relaciones simples y la noción lineal y unidireccional de la

red trófica, se ven superadas por las relaciones inherentes (depredación, soporte, cobijo, defensa); el tipo de poblaciones, variaciones en cantidad de individuos y la respuesta de los seres vivos a ciertos factores del medio. Pero considerando las descripciones de los alumnos se aprecia una necesidad de propiciar una aproximación sistémica para entender la integración de relaciones en una organización más compleja, lo que requiere superar la formulación de características generando un estudio pormenorizado de sus componentes y funcionamiento, (García y Rivero, 1996).

En esa construcción progresiva de las nociones se encuentran las hipótesis de transición que según Rodríguez, Fernández y García (2013), constituyen el proceso de tránsito de un pensamiento simple hacia uno complejo y se enlazan desde el paradigma de la complejidad, el constructivismo y la pedagogía crítica. Dichas hipótesis son útiles en la exploración de ideas; para detectar y superar dificultades de aprendizaje; para establecer grados entre lo simple y lo complejo; en la formulación, organización y análisis de contenidos; en la reformulación de problemas para dar coherencia al proceso constructivo de conocimiento y orientar los problemas socioambientales, como es el caso de la dinámica de la red trófica en los ecosistemas.

Por ende, las hipótesis de progresión son importantes para el conocimiento escolar de las redes tróficas porque referencian desde la construcción progresiva de una idea hasta el conjunto de contenidos conectados entre sí a través de una representación circular que configura un sistema de ideas (Martínez y Martínez, 2012). Hace ver al conocimiento desde una perspectiva evolutiva, orienta los procesos de enseñanza de manera flexible y sus fluctuaciones permiten entender la complejidad del conocimiento en niveles, contenidos y categorías. Dichas hipótesis tienen gran

potencialidad en la intervención e investigación de las redes tróficas porque permiten trasegar de un nivel de complejidad a otro desde preguntas que profundizan la construcción del conocimiento.

Cuando interfieren las hipótesis de progresión según García (2003), se consolida un sistema de ideas que requiere diversidad y causalidad de las relaciones ecológicas, complejidad organizada por relaciones (cadenas, redes y ciclos) y organización del ecosistema. Estas hipótesis proporcionan un programa de actividades desde tres ciclos (formulación, reformulación y síntesis) y una metodología para resolver problemas cuya evaluación surge como regulación y ajuste, donde la comprensión de nociones trasciende la perspectiva causa-efecto propia del pensamiento lineal. Por ello Salas (2018) evidencia que las hipótesis de progresión en el aprendizaje de la red trófica posibilitan el tránsito hacia lo abstracto y lo complejo usando diferentes niveles de representación externa porque muchos ejemplos y contextos trabajados se alejan de la vida cotidiana. Construir gradualmente la noción de red trófica y de ecosistema ayuda a entenderlas como sistema, por ello involucrar los estudiantes en proyectos de investigación o salidas de campo, contribuye a estructurar conceptos más complejos y relacionar contenidos desplegando aprendizajes con mayor nivel de abstracción.

Como el pensamiento sistémico se centra en la interacción dinámica e interdependiente, diversas causas pueden generar un mismo efecto dada la circularidad de un sistema. Los bucles de retroalimentación potencian el cambio permitiendo el tránsito de un pensamiento lineal a uno circular por ello lo lineal y lo circular no se vislumbran excluyentes y puede transitarse de uno al otro. Así, al sumergirse en el pensamiento circular se amplía la percepción frente a la complejidad de los fenómenos, se supera la diferenciación y exclusión consolidando

otra lógica que permite ver aquellos matices que coexisten, lo cual se presenta con la articulación al contexto relacional para lo que es imprescindible la autorreferencia, la autopoiesis y un constante dinamismo (Páez, 2019).

De tal manera que la transición entre lo simple y lo complejo no debe entenderse como rechazo a lo simple, es más una integración de lo simple en lo complejo para evitar un uso superficial, mecánico y simplista del conocimiento de las redes tróficas. Para ello, es preciso que los conceptos estén caracterizados antes del diseño de los contenidos escolares y sus distintas estrategias didácticas en función de cada contexto y de cada estudiante, porque una aplicación conceptual lineal restringe la construcción de conocimiento entre los estudiantes desarticulando la academia de la vida cotidiana. Una visión rígida y estática de estabilidad en la naturaleza obstaculiza la comprensión de los principios de conservación de la masa o la energía, por ejemplo, que dependen de muchos factores donde los sistemas vivos y su capacidad de reorganización ayudan a mantener su estabilidad en el cambio, (García E. , 1995).

CONCLUSIONES

Respecto al aprendizaje de las redes tróficas se identificó que su complejidad genera un consenso sobre un inicio temprano de su enseñanza, además del cambio de perspectiva desde donde se ha producido su análisis, el pensamiento lineal. No hacerlo ocasiona dificultades en los estudiantes y la simplificación de las dinámicas que interfiere en el entendimiento de las relaciones, interacciones, patrones y perturbaciones presentes en los ecosistemas. Al fundamentarse el aprendizaje de las redes tróficas en un patrón unidireccional se desconoce la complejidad ecosistémica y sus dinámicas inherentes, haciendo confusa la interpretación de sus representaciones, más cuando se incorporan varios niveles tróficos,

haciendo insuficientes las nociones aprendidas para explicar las complejas relaciones e interacciones presentadas en ellos.

Para subsanar concepciones erróneas respecto a las redes tróficas y sus dinámicas es necesario identificar los conocimientos previos y reconocer por qué o dónde presentan debilidades los estudiantes. Así que ejercicios prácticos, cooperativos, fuera del aula o mediados por TIC, facilitan la conexión de las nociones abstractas con la realidad, logrando un abordaje contextual que permite el tránsito desde la perspectiva lineal hacia la sistémica, más acorde con la complejidad inherente a las redes tróficas. Esto posibilita la comprensión global de esquemas de flujos y ciclos de energía, la interdependencia de los organismos en los ecosistemas entre ellos y con el ambiente abiótico, superando la mera descripción de términos. Abordar las redes tróficas desde escenarios reales permite explicar su impacto y complejidad forjando una mirada integral que incorpora el desequilibrio, la hibridez y el caos, superando la visión lineal y nociones reduccionistas: lo estático, lo equilibrado o linealidad que de allí derivan.

La interrelación de variables e incorporación de patrones de razonamiento práctico se propicia cuando conceptos y modelos se interconectan en red. Entonces, para mejorar la comprensión del concepto de red trófica debe asumirse como un sistema complejo articulando lo espacial y temporal, el dinamismo, la multicausalidad e interdependencia, que genera habilidades cognitivas que propician estructuras de pensamiento de orden superior, cambiando la manera de percibir las cosas. Como el tránsito del pensamiento lineal al complejo en la enseñanza de las redes tróficas es fundamental, para ello se presentan las hipótesis de transición como el enlace para la construcción progresiva del conocimiento hasta complejizar el pensamiento en niveles y categorías configurando una trama circular de sistemas de ideas que interconectan

conceptos y relaciones inherentes a las redes tróficas y a los ecosistemas donde están inmersos, que le facilita al estudiante transitar hacia lo abstracto, entender la complejidad e interdependencia entre causas y efectos desde lógicas que transforman la percepción de lo observado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, S. (1982). Food Web Analysis: An Ecosystem Approach. *The American Biology Teacher*, 44(3), 186-188.
- Allesina, S., Alonso, D., & Pascual, M. (2008). A general model for food web structure. *Science*, 320(5876), 658-661.
- Barman, C., & Mayer, D. (1994). An analysis of high school students' concepts & textbook presentations of food chains & food webs. *The American Biology Teacher*, 56(3), 160-164.
- Ben-Zvi, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560.
- Bermúdez, G., & Longhi, A. d. (2008). La Educación Ambiental y la Ecología como ciencia. Una discusión necesaria para la enseñanza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 275-297.
- Bravo, B., & Jiménez, M. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas, en argumentos del alumnado de bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*(32), 425-442.
- Capra, F. (1998). *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.

- Cepeda, W., Martínez, M., & Rangel, M. (octubre de 2015). Comprensión del concepto de Red trófica y su diferencia con cadena trófica mediante trabajos prácticos y preguntas conflicto para tres ecosistemas colombiano. *Biografía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Número extraordinario*, 1712-1720.
- Coronado, M., & Arteta, J. (julio-diciembre de 2015). Competencias científicas que propician docentes de Ciencias Naturales. *Zona Próxima*, 23, 1-12.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson. (1994). *Making Sense of Secondary Science: Research into Children's Ideas*. New York: Routledge.
- Eilam, B. (2012). System thinking and feeding relations: learning with a live ecosystem model. *Instr Science*, 213-239.
- Escobar, J., & Guevara, D. (2017). El pensamiento sistémico y la interdisciplinabilidad como requisitos indispensables para la educación ambiental. *Semillero de investigación de Sistemas Complejos y Simulación - UTP*, 1-10.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2009). An Investigation of the Potential of Interactive Simulations for Developing System Thinking Skills in Elementary School: A case study with fifth graders and sixth graders. *Journal of Science Education*, 31(5), 655-674.
- García, E. (1994). El conocimiento escolar como proceso evolutivo: aplicación al conocimiento de nociones ecológicas. *Investigación en la Escuela*(23), 65-76.
- García, E. (1995). La transición desde un pensamiento simple hacia un pensamiento complejo en la construcción del conocimiento escolar. *Investigación en la Escuela*(27), 7-20.
- García, E. (2003). Investigando el ecosistema. *Investigación en la Escuela*(51), 83-100.
- García, E., & Rivero, A. (1996). La transición desde un pensamiento simple hacia otro complejo en el caso de la construcción de nociones ecológicas. *Investigación en la Escuela*(28), 37-58.
- García, I., Silva, T., & Sesto, V. (2020). Competencia de estudiantes de secundaria para aplicar ideas sobre el funcionamiento de los ecosistemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(1), 67-85.
- García, A. (2011). *Pensar Sistémico. Una introducción al pensamiento sistémico*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gascuel, D., Guenette, S., & Pauly, D. (2011). The trophic-level-based ecosystem modelling approach: theoretical overview and practical uses. *Journal of Marine Science*, 68(7), 1403-1416.
- Gil, M., & Martínez, B. (1992). Problemática en la enseñanza aprendizaje de la Ecología. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*(14), 67-70.
- Giraldo, L. (2016). El pensamiento sistémico y sus relaciones con el ámbito educativo: del paradigma lineal a la trama circular. *Revista Filosofía UIS*, 15(1), 279-312.
- Gómez, I. (2014). *Cadenas y redes tróficas en primaria*. Granada: Universidad de Granada.

- Grajales, M., & González, H. (2009). *Ecosistemas y pensamiento complejo: una propuesta de intervención para la enseñanza de las ciencias basada en procesos de modelización*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Grotzer, T. (2009). *Addressing the Challenges in Understanding Ecosystems: Classroom Studies*. Garden City: National Association for Research in Science Teaching (NARST).
- Grozer, T., & Bell, B. (2003). ¿How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16-29.
- Grumbine, R. (2012). Can You Build It? Using Manipulatives to Assess Student Understanding of Food-Web Concepts. *The American Biology Teacher*, 74(2), 518-520.
- Heldén, G. (1999). A Longitudinal Study of Pupils' Understanding of Conditions for Life, Growth and Decomposition. En M. Bandiera, S. Caravita, E. Torracca, & M. Vicentini, *Research in Educational Sciences in Europe*. (págs. 23-30). Dordrecht: Springer.
- Hernández, C. (2019). *Juego dramático para la enseñanza - aprendizaje de las redes tróficas en cuarto de primaria, colegio Paulo Freire*. Tunja: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
- Hincapié, I. (2016). *Intervención didáctica basada en las TIC como estrategia para la enseñanza del flujo de energía en los ecosistemas de desierto. Estudio de caso en el Colegio Calasanz Medellín*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia .
- Hincapié, R. (2015). *Diseño de una propuesta metodológica para la enseñanza de las interacciones en los ecosistemas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Hogan, K. (2000). Assessing students' systems reasoning in ecology. *Journal of Biological Education*, 4(2), 22-28.
- Hokayem, H., & Wenk, A. (2016). Early Elementary Students' Understanding of Complex Ecosystems: A Learning Progression Approach. *Journal of research in science teaching*, 53(10), 1524-1545.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 3: ideas found in children aged 5-16 about the interdependency of organisms. *Journal of Science Education*, 18(2), 129-141.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (2007). Children's ideas about ecology 3: ideas found in children aged 5-16 about the interdependency of organisms. *International Journal of Scientific Education*, 18, 129-141.
- Magntorn, O. (2007). *Reading Nature: Developing ecological literacy through teaching*. Linköping: LiU-Tryck, Linköping University.
- Martínez, C., & Martínez, V. (2012). El conocimiento escolar y las hipótesis de progresión: algunos fundamentos y desarrollos. *Nodos y Nudos*, 4(32), 50-64.
- Martínez, G. (2016). ¿Cómo fluye la energía en el interior de los ecosistemas? Proyecto que aborda la enseñanza-aprendizaje de las relaciones tróficas que se dan en el ecosistema. *Universidad de Navarra*,

1-56.

- Páez, M. (2019). Intervención sistémica con familias: de la linealidad a la circularidad. *CS(28)*, 201-227.
- Pedrerros, R., Chaparro, C., Méndez, N., Sastoque, H., & Prias, C. (2006). Pensamiento sistémico en el aula. *Nodos y Nudos*, 2(20), 28-38.
- Peisajovich, B. (2005). El enfoque sistémico. Una propuesta de trabajo para la enseñanza de primaria. *Correo del Maestro*(113), 1-12.
- Peñaloza, O. (2013). *Pensamiento sistémico en el aula: La experiencia de la oxidación con estudiantes de grado noveno de la I.E.D. Pablo Neruda*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Pérez, E. (2015). *Desarrollo del pensamiento sistémico en el curso de biología con alumnas del quinto de bachillerato en ciencias y letras, aplicando la metodología constructivista*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Pimm, S., Lawton, J., & Cohen, J. (1991). Food web patterns and their consequences. *Nature*(350), 669-674.
- Plate, R. (2010). Assessing individuals' understanding of nonlinear causal structures in complex systems. *System Dynamics Review*, 26(1), 19-33.
- Preston, C. (2018). Food webs: implications for instruction. *The American Biology Teacher*, 80(5), 331-338.
- Rincón, M. (2011). Concepciones de los estudiantes de educación básica sobre el ecosistema. Una revisión documental. *Revista Bio-grafía: Escritor sobre la biología y su enseñanza*, 4(7), 77-93.
- Rivera, M., & Muñoz, M. (2016). Concepciones que poseen los estudiantes de séptimo grado de la Institución Educativa Humberto Tafur Charry en el marco de la educación ambiental sobre ecosistema. *Universidad Surcolombiana*, 1-10.
- Rodríguez, F., Fernández, J., & García, E. (2013). Educación ambiental y complejidad: el uso de las hipótesis de transición. *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, (págs. 1467-1471). Girona.
- Romero, A., & Gil, M. (2017). Pensamiento sistémico. El concepto de sistema en el currículo y en libros de textos de secundaria de biología y geología. *X Congreso Internacional sobre investigación en didácticas de las ciencias* (págs. 1393-1397). Sevilla: Revista Enseñanza de las Ciencias.
- Sáenz, M., Lucha, P., Claver, A., Arasanz, Á., & Iráizoz, R. (2017). Del dicho al hecho en una propuesta sobre ecosistemas contextualizada en el huerto escolar. *Revista de Educación Científica*, 1(2), 47-57.
- Salas, E. (2018). Construcción del conocimiento ecológico en la escuela. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Número Extraordinario*, 1-11.
- Salvador, A., Marco, G., & Arquero, R. (abril-junio de 2018). Las revisiones sistemáticas en Biblioteconomía y Documentación: análisis y evaluación del proceso de búsqueda. *Revista Española de Documentación Científica*, 41(2), 1-19.
- Salvo, A. D., Romero, N., & Briceño, J. (2009). Estudio de los ecosistemas desde la perspectiva de la complejidad. *Multiciencias*, 9(3), 242-248.

- Sánchez, N. (2010). Programa guía de actividades aplicadas en el Instituto Pedagógico Nacional en los conceptos interacción y red trófica. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza.*, 3(5), 102-115.
- Santos, S., & Maciel, M. (2013). As interações entre o ensino de ecologia: um estudo sobre cadeia alimentar. *IX Congreso Internacional sobre investigación en didácticas de las ciencias* (págs. 1096-1100). Girona: Núcleo Interdisciplinar de Estudos e Pesquisas em CTS (NIEPCTS).
- Silva, M., & Maskiewicz, A. (2016). Understanding causal relationships in food webs using "Data-Rich Problem" Tasks. *The American Biology Teacher*, 78(8), 635-641.
- Smith, R., Smith, T., & Román, E. (2007). *Ecología*. Madrid: Pearson Educación.
- Suárez, I. (2015). *Propuesta de una estrategia pedagógica, objeto virtual de aprendizaje OVA, para la enseñanza de redes tróficas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Sweeney, B., & Stermán, J. (2007). Thinking about systems: student and teacher conceptions of natural and social systems. *Wiley InterScience*(23), 285-312.
- Torres, R., & Reyes, M. (2017). *Una propuesta didáctica para la comprensión del concepto Ecosistema a partir del establecimiento de las relaciones recíprocas que se dan entre los factores bióticos y abióticos para lograr el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación*. Cali: Universidad del Valle.
- Valbuena, E. (2007). *El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Webb, P., & Boltt, G. (1990). Food chain to food web: a natural progression. *Journal of Biological Education*, 24(3), 187-190.
- Wenk, A., & Butler, N. (2010). Reasoning up and down a food chain: using an assessment framework to investigate students' middle knowledge. *Wiley InterScience*(94), 259-281.
- White, P. (2011). Naive ecology: Causal judgments about a simple ecosystem. *British Journal of Psychology*, 88(2), 219-233.
- Wyner, Y., & Blath, E. (2019). Connecting ecology to daily life: how students and teachers relate food webs to the food they eat. *Journal of Biological Education*, 53(2), 128-149.